

## 정수장에서 회전 분사 노즐을 사용한 여과사 세척에 관한 연구

### - A Study on the Rotating Jet Nozzle for Washing Sand Filter in Water Purification Plant -

이 주 호 \*

Lee Ju Ho

박 승 헌\*\*

Park Seung Hun

#### Abstract

The contamination problem is getting worse now a day because of the industrial activities. Recently it has been announced that there's environmental hormone in river and lake which produces clean water, also there's too many of algae reproduces under the water and some virus in the drinking water.

The quality of water is very important. pure and clean water is not only a precondition for human being to live but a basic factor to improve the quality of life. so a water purification system must be developed.

This study is about the surface washing treatment technique. We tried to use a rotary nozzle to get a high degree of efficiency, for it was not enough with present way of washing. The nozzle is run by water pressure.

The results of the experiment are as follows. We got a clean and equal surface after washing. After washing, the water's maximum consistency was 330NTU and it shows that this way is better than before one with 215NTU. Clean level of the filter was 6° and it's 2.8 times higher than 17° with the old way.

We can see the results that the new way of washing is more effective than old way based on this study.

---

\* 인하대학교 산업대학원

\* \* 인하대학교 기계공학부

## 1. 서론

수도권 지역의 음용수 수질 관리는 상수원에서 환경 호르몬의 검출, 바이러스 파문, 조류에 의한 독성 등으로 인해 갈수록 어려워지고 있는 실정이다. 그러나 깨끗하고 맑은 물의 공급은 인간 생존에 있어 삶의 질을 향상 시켜주는 중요한 요소이다.

수돗물의 생산 과정은 강과 호수에서 원수를 취수하여 응집→ 침전→ 여과→ 소독을 기본으로 하는 표준식 정수처리 공정을 거친다. 이중 여과 공정은 순수한 화학 처리 공정인 소독을 제외한 최종 공정으로 침전 공정에서 제거되지 않은 탁질과 미생물 등을 제거하는 기능을 담당한다. 즉 이 공정에서 부유물과 병원성 미생물 등을 제거한다. 따라서 응집과 침전 공정은 여과 공정의 효율을 극대화시키기 위한 전 처리 공정이라 할 수 있다. 여과 공정은 응집 및 침전 공정과는 달리 육안에 의한 관찰이 가능하지 않아 수시 점검이 어려우므로 잠재적인 위험요소를 내포하고 있다.

여과수질은 여과사(여과 모래) 세척 방법에 따라 그 결과가 매우 달라진다. 여과 수질을 판단하는 지표로서 탁도는 가장 기본이 되는 중요한 지표이다. 미국의 경우에 수질 처리 기준으로 년중 일간 정수 탁도 시료의 95% 이상이 0.3NTU ( Nephelometric Turbidity Unit )를 넘지 않도록 명시하고 있다<sup>[2]</sup>. 국내 정수장에서 급속 여과 방식을 사용하는 정수장의 경우는 문헌 [2]에 의하면 다음과 같다. 여과사 세척 방법으로 공기와 물을 함께 사용하는 공기 역 세척 방식을 사용하는 정수장의 탁도는 0.3NTU를 넘지 않는다. 그러나 공기 역 세척이 없는 단순한 물 역 세척 방식은 상기의 기준을 만족시키지 못 한다. 여과 수질의 향상을 위해서 물 역 세척 방식을 사용하는 정수장은 공기 역 세척 방식으로 교체하는 것이 바람직하다. 그러나 이 방식으로 교체하기 위해서는 많은 초기 투자비와 장시간의 사업기간이 소요된다. 또한 이 방식은 공기압에 의한 여재의 부양으로 모래가 유실되고 이물질이 침투하는 등의 문제점을 내포하고 있다.

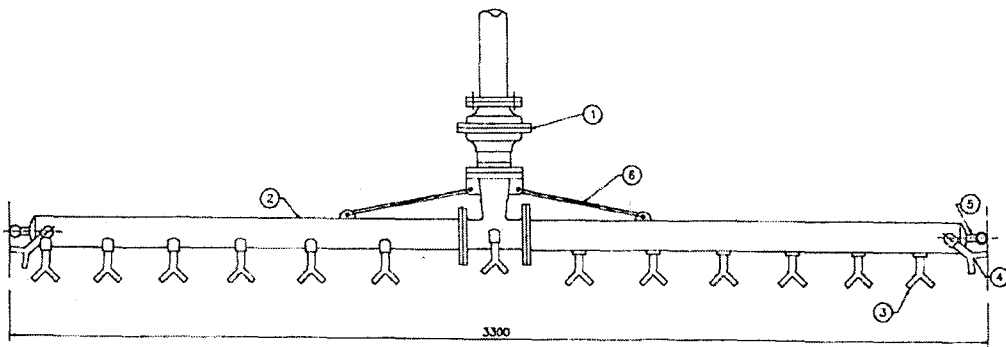
따라서 본 연구는 위에서 언급한 경제성과 문제점을 감안하여 기존의 물 역 세척 방식을 다음과 같이 개선하였다. 즉 여과사의 세척 효과가 공기 역 세척 방식과 같이 극대화 될 수 있도록 분사 노즐을 기존의 고정식 노즐에서 회전식 노즐로 변경하였다. 그 다음으로 회전식 분사 노즐 방식으로 실험을 통하여 여과사의 세척 방법이 여과 수질에 미치는 영향 등을 검토하고자한다.

## 2. 실험

### 2.1 회전식 분사 노즐의 특성과 구조

그림 1은 본 연구에서 사용된 회전식 분사 노즐 세척기를 나타내며, 표 1은 각 부분의 명칭이다. 이 세척기는 여과사의 표면을 회전식 노즐에서 분사되는 수압에 의하여 세척하는 것으로서 표면 세척 초기에는 분사노즐의 회전 및 분사배관의 회전에 의하

여 여과사를 균등세척하고, 역 세척 중에는 분사노즐의 수중 회전력에 의하여 수중와류 및 파동진동을 발생시켜 세척력을 증대시킨다. 표면 세척을 극대화시키는 원리는 파동의 중첩원리에 의하여 이물질을 여과사에서 이탈시킨 후, 수중 부양시켜 역 세척시 트라프를 통하여 배출시킨다.



<그림 1> 회전식 분사 노즐 세척기의 단면도

<표 1> 각부의 명칭

No	DISCRIPTION	MET'L	SIZE	Q'TY
1	회전체	STS 304	10KG/CM <sup>2</sup>	1EA
2	분사관	STS 304	65A	2EA
3	표면세척 (평면) 노즐	STS 304	Y-8형	13EA
4	사구간 표면세척 노즐	STS 304	Y-8형	2EA
5	표세기 회전용 노즐	STS 304	9Ø	2EA
6	TURN BUCKLE	STS 304	DWG	2EA

회전식 분사 노즐 세척기의 구조는 대별하여 회전체, 분사 배관 및 회전 분사 노즐로 구성되어 있다.

(1)회전체

회전체의 재질은 스테인레스 스틸(STS) 혹은 회주철(grey castiron)로 하여 부식방지를 고려하고 상·하부 케이스로 구성하였으며, 회전체의 하부케이스는 볼 베어링(Thrust Ball Bearing)을 설치하여 회전력에 의한 하중을 충분히 견딜 수 있게 고려하였다. 플랜지의 접합은 고무 패킹을 삽입하여 누수방지와 절연이 될 수 있게 설계하였다.

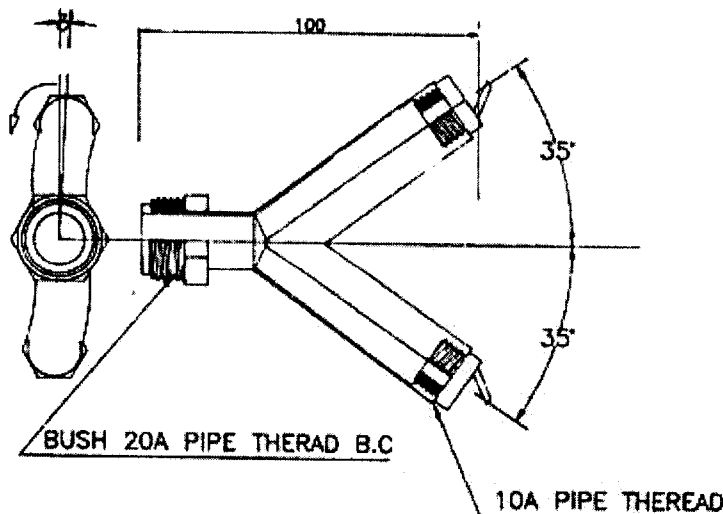
(2) 분사 배관

분사 배관은 유입된 세척수를 표면 세척 노즐에 균등하게 분배하는 역할을 한다. 또한 분사 배관은 소켓 니플 체결식으로 회전노즐 설치가 용이하게 하였다. 분사배관의 재질은 STS 304로 하여 부식을 방지할 하였고 분사 배관의 회전시 노즐의 분사반경이 증첩되도록 분사노즐의 설치 이격 거리를 다르게 하였다. 또한 분사 배관의 회전중 편차 회전을 방지하기 위하여 Turn Buckle을 설치하였고, 끝단에 설치한 고정식 분사노즐의 압력분사에 의하여 회전력을 발휘한다. 여과지의 상태에 따라 회전각을 조절하여 적절한 분당 회전수(rpm)를 유지할 수 있으며, 회전 도중 분사배관의 충돌을 방지하기 위하여 표면세척기 끝단 사이의 이격 거리를 5cm이상으로 하였다.

(3) 회전 분사 노즐

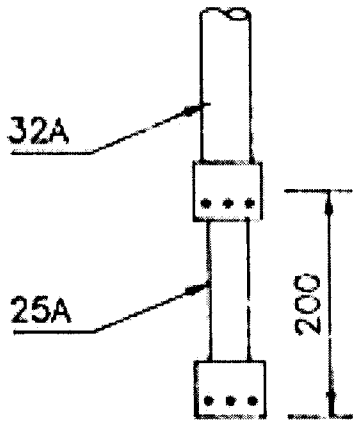
회전 분사 노즐의 형태는 그림 2와 같이 Y형으로서 60~70°입사각을 갖도록 설계되어 졌다. 분사노즐의 재질은 SUS, 니플 재질은 회주철로 하여 부식방지에 대비하였고 노즐의 회전수는 수압 4kg/cm<sup>2</sup>에서 200rpm이상이 되도록 설계하였다. 수중와류 현상 및 파동효과는 노즐의 회전수가 200rpm이상이 되어야만 효과가 있다.

회전노즐의 설치 각도는 사면과 30~45°각도로 설치하여 여과사를 수직 전단력에 의한 파쇄를 하지않고 경사 분사에 의한 사면 와류 현상에 의한 세척이 발생하도록 하였다. 한편 수압에 의해 세척 효과가 영향을 받기 때문에 수압이 강한 경우는 노즐의 각도를 30° 로 하고 수압이 낮을 경우는 45° 로하였다. 따라서 회전분사 노즐의 크기 및 분사 각은 여과지의 현장 여건에 따라 조정이 가능하도록 하였다.



<그림 2> 회전 분사 노즐

회전식 분사 노즐 세척기는 물줄기의 분포가 여과사면의 전체에 골고루 분사되어지고, 분사되는 물줄기의 반경이 약 30~40% 확대되어 고정식에서 문제점으로 대두되었던 세척의 사구간이 발생이 되지 않도록 세척력 강화를 하였다.



〈그림3〉 기존의 고정식 분사 노즐 세척기

## 2.2 실험 장치 및 방법

실험에 활용한 여과지는 “B” 정수장 한 곳을 선택하여 시행하였으며, 그 규모는 가로×세로(=12,600×8,700)로 회전체가 12개이며, 회전노즐은 회전체 하나에 13개씩 설치하여 총 156(=12×13)개이다.

실험에 사용된 원수의 조건은 한강 잠실 수중보 위의 취수장에서 취수한 원수로 수온의 연 변화<sup>[1]</sup>는 3~29℃로 평균은 약 16℃이며, 탁도는 0.67~12.2 NTU로 평균 3.53 NTU이다.

세척기의 배치는 세척 효율의 극대화를 위하여 크기가 같은 회전식 노즐 세척기를 동일한 여과지에 2열로 설치하여 수중파동 효과를 증대시킬 수 있도록 하였다. 표면 세척수의 유입 배관은 수격작용 방지를 위하여 세척수의 순환이 가능하도록 정방형의 순환 배관을 동일 크기의 관경으로 제작하였다.

세척기의 사면과의 이격 거리는 최대 15cm, 최소 5cm를 유지하여 여과의 사면 팽창에 대하여 여유 거리를 갖고 세척 분사압이 유지 되도록 하였다. 세척기의 끝단에 사구간 방지용 고정노즐을 설치하여 표면세척 회전직경을 기존 방식보다 약 50~100cm정도 확대 시켰다.

실험 방법은 여과사 세척수의 탁도를 측정하여 세척 정도를 회전식 분사 노즐 세척기의 사용 전 후를 비교 분석하였다. 여과사의 세척 정도를 비교하기 위해 여과사를

채집하여 탁질의 제거율과 여과수의 탁도 등을 비교하였다. 탁도 실험 기기는 탁도계로 HACH. Co. Ltd. USA, 그리고 Jar tester(Young Co. Ltd.)를 사용하였고, 시료 채취는 역 세척 시 역류 (overflow)되는 역 세수를 약 30초 간격을 두고 채수 시험하였다.

실험의 정확성을 기하기 위해 5회 반복하여 시험 평균치를 사용하였다. 또한 세척 정도에 따라 여과사의 사용시간의 변화를 살펴보기 위하여 사용 전 후의 여과지의 여과지속 시간을 약 1개월 간 측정하여 평균치를 넘어서서 효과 분석의 정확성을 기하였다.

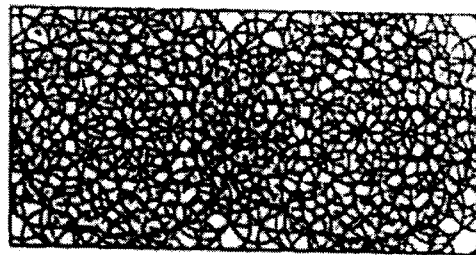
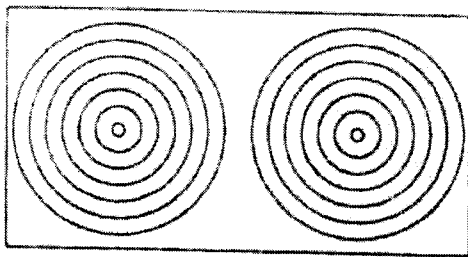
기타 사항으로 여과된 정수의 탁도 농도를 비교하여 정수에 미치는 영향이 있는지의 여부와 분사 노즐의 회전에 의한 여과사의 유실 정도를 분석하였다. 또한 여과사의 여과 지속 시간의 증가로 인한 여과사의 교체주기도 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 육안에 의한 여상 표층부 검사 결과

##### (1) 세척의 사구간 (며 세척 구간)

기존의 고정식 분사 노즐 방식은 회전 분사 각의 협소로 인하여 분사 반경이 제한적이었으나, 회전식 분사 노즐 방식은 분사 각도의 확대로 분사반경이 약 50cm이상이 넓어지게 되었다. 따라서 여과지의 사각 부분인 모서리와 세척기의 회전반경 범위 밖까지 세척이 가능하게 되어 사면의 전 부분을 균일하게 세척 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

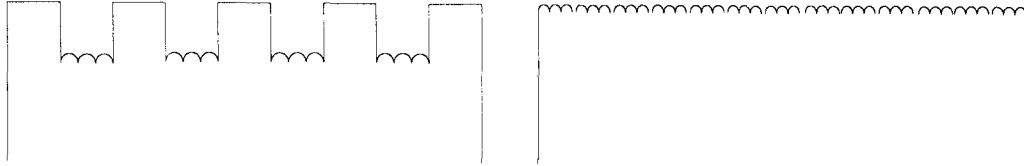


<그림4> 고정식 분사 후의 여과사 표면

<그림5> 회전식 분사 후의 여과사 표면

##### (2) 세척의 균질화

고정식 분사 노즐 방식은 동일한 장소를 반복적으로 분사하여 사면에 깊은 홈이 발생(그림6 참조)함으로써 이물질이 침투되어 누출의 위험성이 있다. 그러나 회전식 방식은 분사노즐의 불규칙한 회전에 의해 회전 시마다 각기 다른 세척 면이 이루어져, 세척 면의 불균형이 완전히 해소되어 균일한 세척 면(그림7 참조)이 이루어지는 것을 확인하였다.



<그림6> 고정식 세척후 여과사층 단면

<그림7> 회전식 세척후 여과사층 단면

(3) 세척력의 효과 증대

표층부 사면의 상태가 육안으로 보기에 확연히 세척의 정도가 우수하였다. 그 이유로는 위에서 설명한 (1), (2)외에 회전식 노즐의 경사각에 의한 분사로 사면에 형성된 머드 불의 전단 파쇄가 쉽고, 파쇄되는 면적이 증가하여 파괴, 이탈된 조류, 머드 불, 기타 이물질 등의 탁질이 분사노즐의 회전력에 의한 수중와류로 부양 배출이 쉽게 이루어 졌기 때문이다.

3.2 여과사 청결도 측정

여과사 세척 후의 여과 모래에 대한 청결도를 측정하여 이물질의 혼합정도를 나타내는 세척도로 비교하였다. 그 결과 표 2와 같이 회전식 노즐을 사용한 경우가 고정식보다 약 2.8배의 청결도를 나타내어 우수한 세척 효과를 확인 할 수 있다. 그리고 세척전의 여과사의 탁도와 세척후의 탁도를 비교한 결과는 표 3에서와 같이 회전식 일 경우의 탁도 제거율이 94.7%로 고정식보다 월등히 높은 것을 확인할 수 있었다.

또한 여과사의 청결도 향상으로 여과 지속시간을 약 30% 정도 증가시킬 수 있어 여과사 교체시간의 연장에 의해 비용이 절감되었다. 특히 *Synedra acus*와 같은 조류 발생시 강력한 세척으로 여과사 표면에 잔류하는 조류를 제거하여 여과 지속 시간이 연장될 뿐 아니라 청결도 증가로 인하여 결과적으로 정수탁도를 높일 수 있다는 것을 확인하였다.

(표 2) 세척 후 여과사의 청결도 비교

구분 \ 항목	세척 전 여과사 탁도	세척 후 여과사 탁도	실험에 사용한 여과사의 양
고정식 분사방식	30°	17°	2kg
회전식 분사방식	30°	6°	2kg

(표 3) 세척 후 여과사의 탁도 제거율

구분 항목	세척 전 여과사	세척 후의 여과사		비고
		고정식 방식	회전식 방식	
탁도(NTU)	8,125	7,750	77	※5회 반복 실험 평균치
제거율(%)		4.6	94.7	

표 4는 실제 운영조건에서 여과사를 세척한 다음 재 세척(여과사 표면에 역류된 이물질 양이 많아져서) 할 때까지의 여과 지속 시간을 기록한 자료이다.

(표 4) 여과사의 여과 지속시간

단위: 시간

구분	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
	고정식 방식		16	24	24	24	20	24	24	20	16	24
회전식 방식		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

표 3, 4, 5와 같이 회전식 분사 노즐 방식은 여과사의 탁질 제거율이 향상되고 여과 지속 시간을 평균적으로 약 8시간 연장시킨다. 이것은 세척 시에 발생하는 여과사 마모와 여재의 유실 등이 감소함으로 여과사 교체비용을 줄일 수 있다.

### 3.3 여과사 세척수의 탁도 측정

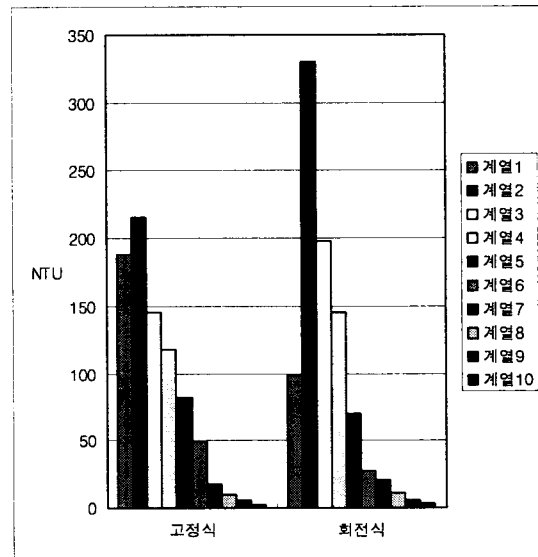
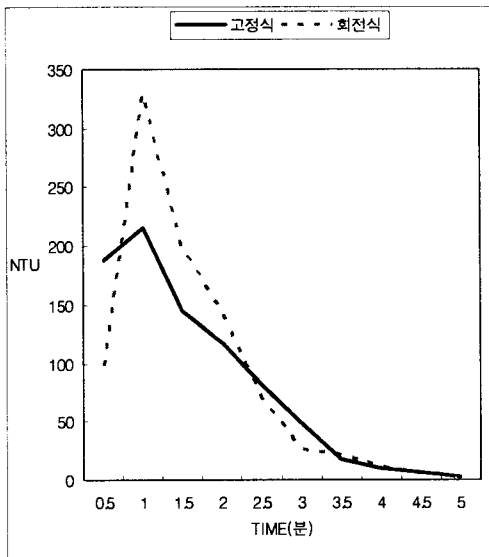
회전식 분사 노즐 세척기 작동으로 여과사 표면에 생성된 탁질을 얼마나 전단 파쇄하여 효과적으로 부양 배출시키는가를 파악하기 위해 역 세척 시에 역류되는 역 세수를 시간대 별로 측정 비교한 결과는 표 5와 같다. 표 5에서는 1분 경과 후에 세척수의 탁도가 330NTU로서 최대의 농도를 나타내었으며 고정식의 215NTU보다 훨씬 높다. 또한 그림 8은 표 5를 달리 표현한 것이다. 즉 시간의 경과에 따른 여과사를 세척한 세척수의 탁도를 나타낸 것으로 회전식 방식이 효과가 월등한 것을 확인 할 수 있다.



(표 5) 시간대별 세척수 탁도 비교

단위:NTU

구분 \ 시간(분)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
고정식의 탁도	188	215	145	118	82	49	17	10	6	2
회전식의 탁도	98	330	198	145	70	27	21	11	6	3



<그림 8> 각 세척 방식의 세척 수 탁도

### 3.4 여과 정수 탁도

표 6은 여과되어진 물, 즉 정수 탁도를 비교하기 위해 10회에 걸쳐 양 방식의 탁도를 측정한 자료이다.

(표 6) 정수 탁도 비교

단위 : NTU

구분 \ NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	비고
고정식 분사방식	0.2	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.5	0.4	
회전식 분사방식	0.09	0.08	0.1	0.11	0.09	0.12	0.1	0.09	0.09	0.08	

앞에서 언급하였으나 정수 탁도는 먹는 물의 수질 기준 지표로서 매우 중요한 지수이다. 정수 탁도 0.3NTU를 기준으로 할 때, 기존의 방식인 고정식 분사 노즐 방식의 정수 탁도는 표 6과 같이 0.3NTU가 넘는 경우가 발생한다. 그러나 회전식 분사노즐 방식을 사용할 경우, 정수 탁도가 최대 0.12NTU로서 항상 기준치 이하임을 알 수 있었다.

한편 여과공정에 있어서 여과사를 얼마나 효율적으로 세척하는가가 정수의 탁도를 좌우 하는 것을 표 6을 통해 알 수 있었다. 즉 여과사의 세척 효율이 정수 탁도의 효율과 직결됨을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 여과 공정의 여과사를 세척하는 방법으로 회전식 분사 노즐을 사용하여 실험하였다. 그 실험 결과치를 분석하고 기존의 고정식 분사 노즐 방식과 비교하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 여과사의 청결도 시험에서 회전식 분사 노즐 방식이 고정식 분사노즐 방식 보다 약 2.8배의 청결도를 나타내어 뛰어난 세척효과가 있음을 알 수 있었다.
- (2) 여과사 세척수의 탁도 시험 결과, 회전식 분사 노즐 방식의 NTU 값이 항상 고정식 보다 높아 탁질 제거 능력이 우수함을 알 수 있었다.
- (3) 회전식 분사 노즐 방식의 여과 공정을 거친 정수의 탁도 시험 결과, 최대 값이 0.12NTU로 항상 음용 기준을 만족 할뿐 아니라 뛰어난 여과 효율을 나타내었다. 또한 여과사의 세척 효율 향상이 여과수의 정수 탁도를 낮추는 것과 직결됨을 확인하였다.
- (4) 회전식 분사 노즐의 균등 분사에 의해 여과사의 불 연속 면이 없어져서 탁질류의 사면 잔류에 의한 이물질의 누출 위험성이 줄어들었다.
- (5) 여과사 청결도 향상으로 인해 여과 지속시간이 약 30% 증가하여 여과사 교체 비용이 절감 될 수 있었다.

이상의 결과를 종합하면, 여과사 세척에 있어 기존의 고정식 분사 노즐 방식을 회전식 분사 노즐 방식으로 변경함으로써 여과 공정의 정수 탁도를 높임과 동시에 공역 세척 방식에 비해 경제성도 갖출 수 있겠다.

## 5. 참고문헌

- [1] 김주원의, “2001년 업무분석”, 인천광역시 상수도 사업본부 수질연구실, 2001, pp. 3~4
- [2] 남궁원의, “The Annual Report for Water Quality Technology”, 인천광역시 상수도 사업본부, 2001. pp.26~29, 42, 147~148
- [3] 문필중외, “2001년 상수도 운영관리 Workshop”, 환경부, 한국수자원공사, 2001. pp. 35~39
- [4] 환경부제정, “상수도 시설기준 1997”, 한국수도협회, 1997. pp. 226~234
- [5] 환경부 인터넷 홈페이지, “2002 상수도 통계현황”, 2002.
- [6] 博林箴, “synedra. acus에 의한 濾過池 閉塞”, 昭和46년. pp. 1~9
- [7] 濟藤昭二, 藻類 淨水處理障害臭, 濾過閉塞, 着濁, J. Jwwa, 第62卷 第6号, 1994.

## 저 자 소개

박승헌 : 인하대학교 금속공학과에서 공학사, 일본 Keio대학 산업공학과에서 공학석사 및 공학박사를 취득하였다.

현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직중이다.

주요 관심 분야는 셀 생산, FMS 등 각종 생산시스템의 설계, 운영 및 감성 공학 등이다.

이주호 : 인하대학교 산업대학원 산업공학과에서 석사를 취득하였다.

인천광역시 상수도 사업본부를 거쳐 현재는 인천광역시 차량등록사업소 소장으로 재직중이다.